



## Персонализированный подход к хирургии диастематомии: опыт применения новой 3D-навигационной технологии

©В.Г. Тория\*, С.В. Виссарионов

Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера,  
Санкт-Петербург, Россия

\* В.Г. Тория, Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии  
им. Г.И. Турнера, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин, ул. Парковая 64–68, [vakdiss@yandex.ru](mailto:vakdiss@yandex.ru)

Поступила в редакцию 26 января 2025 г. Исправлена 27 марта 2025 г. Принята к печати 17 июня 2025 г.

### Резюме

**Актуальность:** Диастематомия I типа является редкой врожденной патологией позвоночника, при которой спинной мозг разделён костной перегородкой на два самостоятельных канала. В детском возрасте подобная аномалия нередко приводит к неврологическим расстройствам и деформациям позвоночника, значительно ухудшая качество жизни пациента. Традиционные методы хирургического лечения включают резекцию перегородки и костно-пластическую ламинотомию, но часто сопровождаются значительной травматичностью и рисками повреждения нервных структур, увеличением интраоперационной кровопотери, формированием ятрогенной нестабильности позвоночника и прогрессированием постламинэктомической деформации позвоночного столба. Современные 3D-технологии позволяют повысить точность оперативного вмешательства, обеспечивая более щадящее отношение к задним структурам позвоночника.

**Цель:** Сравнить эффективность и безопасность применения индивидуального навигационного шаблона для костно-пластической ламинотомии при диастематомии I типа с результатами традиционного хирургического подхода.

**Материалы и методы:** В ретроспективное исследование включено 13 пациентов (возраст 4–12 лет) с диастематомией I типа. В основной группе (n=6) использовался индивидуальный 3D-навигационный шаблон, в контрольной группе (n=7) применялась традиционная ламинотомия. Собранные данные (время операции, объём кровопотери, уровень С-реактивного белка, осложнения) анализировались с помощью пакета Statistica (TIBCO Software Inc., США). Для сравнения количественных показателей применяли t-критерий Стьюдента с уровнем статистической значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты:** Применение навигационного шаблона позволило достоверно сократить время остеотомии и уменьшить кровопотерю по сравнению с традиционным методом ( $p < 0,05$ ). Уровень С-реактивного белка в первые сутки после операции существенно не различался ( $p > 0,05$ ), свидетельствуя о сходном профиле послеоперационного воспаления. Выявлено одно неврологическое осложнение в контрольной группе, которое регрессировало в течение 3-х мес.

**Заключение:** Индивидуальный навигационный шаблон при диастематомии I типа повышает точность костной резекции и снижает травматичность вмешательства. Данный подход перспективен для широкого внедрения в клиническую практику, особенно при сложных врожденных патологиях позвоночника.

**Ключевые слова:** диастематомия, ламинотомия, хирургический навигационный шаблон, аддитивные технологии, хирургия позвоночника, детская нейрохирургия, остеотомия

**Цитировать:** Тория В.Г., Виссарионов С.В. Персонализированный подход к хирургии диастематомии: опыт применения новой 3D-навигационной технологии. *Инновационная медицина Кубани*. 2025;10(3):7–14. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-3-7-14>

## Novel 3D Navigation Technology for a Personalized Surgical Approach in Diastatomyelia

©Vakhtang G. Toria\*, Sergei V. Vissarionov

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation

\* Vakhtang G. Toria, H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, ulitsa  
Parkovaya 64–68, Pushkin, Saint Petersburg, 196603, Russian Federation, [vakdiss@yandex.ru](mailto:vakdiss@yandex.ru)

Received: January 26, 2025. Received in revised form: March 27, 2025. Accepted: June 17, 2025.

### Abstract

**Background:** Type 1 diastatomyelia is a rare congenital spinal anomaly in which the spinal cord is separated by an osseous septum into 2 hemicords. Pediatric patients often present with neurological disorders and spinal deformities, which significantly impair their



quality of life. Conventional surgical treatment includes septal resection and osteoplastic laminotomy but is often accompanied by significant traumatization, risks of damage to neural structures, increased intraoperative blood loss, iatrogenic spinal instability, and postlaminectomy spinal deformity progression. Modern 3D technologies enable to improve the accuracy of surgery, ensuring gentler treatment of the posterior spinal structures.

**Objective:** To compare the effectiveness and safety of an individualized navigation template for osteoplastic laminotomy with those of the traditional surgical approach in patients with type 1 diastematomyelia.

**Materials and methods:** The retrospective study included 13 patients (age, 4-12 years) with type 1 diastematomyelia. In the main group (n=6), we used individualized 3D navigation templates, whereas the control group (n=7) underwent conventional laminotomy. The data (operation time, blood loss volume, C-reactive protein level, complications) were analyzed using Statistica (TIBCO Software Inc, USA). Quantitative values were compared using a *t* test, and  $P < .05$  was considered statistically significant.

**Results:** The application of the navigation template significantly reduced osteotomy duration and blood loss compared with the conventional method ( $P < .05$ ). The C-reactive protein level on the first postoperative day did not differ significantly between the groups ( $P > .05$ ), indicating a similar postoperative inflammatory response. One control patient had a neurological complication, which resolved within 3 months.

**Conclusions:** An individualized navigation template for type 1 diastematomyelia increases the accuracy of bone resection and reduces the traumatic nature of the surgery. This approach holds promise for its widespread implementation in clinical practice, particularly in cases of complex congenital spinal anomalies.

**Keywords:** diastematomyelia, laminotomy, surgical navigation template, additive manufacturing, spinal surgery, pediatric neurosurgery, osteotomy

**Cite this article as:** Toria VG, Vissarionov SV. Novel 3D navigation technology for a personalized surgical approach in diastematomyelia. *Innovative Medicine of Kuban.* 2025;10(3):7–14. <https://doi.org/10.35401/2541-9897-2025-10-3-7-14>

## Введение

Диастематомия – это редкая врождённая аномалия развития спинного мозга, при которой он разделяется вертикальной перегородкой на две изолированные части. В зависимости от структуры и характера этой перегородки выделяют два основных типа диастематомии [1]:

- Тип I – костная (иногда костно-хрящевая) перегородка, при которой каждый из отделов спинного мозга имеет собственный дуральный мешок.
- Тип II – фиброзная или хрящевая перегородка, чаще сопровождается единым дуральным мешком.

С клинической точки зрения, диастематомия чаще проявляется в детском возрасте. У пациентов могут наблюдаться различные неврологические расстройства, такие как нарушения ходьбы, параличи и парезы конечностей, а также нарушения функции тазовых органов. Часто встречаются сопутствующие прогрессирующие костные деформации нижних конечностей и позвоночника [2]. Распространенность этой аномалии невелика и точно не описана. По данным различных авторов, врожденные пороки развития нервной трубки составляют от 0,5 до 2 на 1 тыс. новорожденных в мире [3, 4]. Однако своевременная диагностика и хирургическая коррекция имеют ключевое значение для сохранения и улучшения неврологического статуса ребёнка [1].

Особенности диастематомии I типа заключаются в том, что наличие костной перегородки приводит к расщеплению спинного мозга на две части с отдельными рукавами дурального мешка, что создает выраженное механическое воздействие на спинной мозг, которое проявляется в виде фиксации последнего. Хирургическое вмешательство в таких случаях направлено на удаление костной «шпоры» (перегородки) и дефиксацию спинного мозга [5].

Данная патология требует точности техники выполнения остеотомии с целью минимизации травматичности и объёма проведения операции, снижения риска повреждения корешков и спинного мозга, исключения избыточной резекции задних структур позвоночника, что впоследствии чревато формированием нестабильности и деформаций позвоночного столба [6].

В настоящее время существующий объём хирургического вмешательства пациентов с диастематомией включает резекционную ламинотомию с расширенным доступом к зоне патологии, позволяющим визуально контролировать удаление костной перегородки [7]. Однако данный метод приводит к значительному дефекту задних костных структур позвоночника и отсутствию костной защиты спинного мозга, а также формированию мышечно-дурального рубцового сращения и вторичной деформации позвоночного столба в дальнейшем, в процессе роста ребенка [8].

Другой вариант хирургического лечения предполагает выполнение костно-пластической ламинотомии, при которой костный лоскут, сформированный из дуг позвонков после резекции, возвращают на место и фиксируют. Это позволяет частично восстановить задние структуры, однако увеличивает сложность и продолжительность операции [9].

В детском возрасте, когда рост позвоночника ещё не завершён, крайне важно минимизировать травматичность вмешательства и обеспечить оптимальную стабилизацию задней колонны позвоночника с учётом дальнейшего развития костных и мягкотканых структур [8]. Расширенная резекция дуг без точного планирования нередко приводит к деформациям позвоночного столба в процессе роста ребёнка. По данным некоторых авторов, коррекция деформации позвоночника проводится в 30% наблюдений в группе пациентов с проведенным ранее хирургическим лечением

по поводу диастематомии [10]. Необходимость достижения прецизионности и снижения травматичности хирургических методов лечения пациентов с диастематомией способствовала разработке индивидуальных навигационных технологий, позволяющих чётко определить границы остеотомии и контролировать объём костной резекции. Одним из таких инновационных подходов является применение персонализированного навигационного направителя, созданного методом 3D-печати на основании данных компьютерной томографии конкретного пациента.

### Цель

Сравнить результаты хирургического лечения диастематомии I типа у детей с использованием индивидуального 3D-навигационного шаблона и традиционной костно-пластической ламинотомии.

### Материалы и методы

Выполнен ретроспективный анализ результатов лечения 13 пациентов с диастематомией I типа, прооперированных в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера в период с сентября 2019 по июль 2024 г. Проведён сравнительный анализ двух групп больных, которым выполнялась костно-пластическая ламинотомия либо с использованием индивидуального 3D-навигационного шаблона (группа 1), либо по традиционной методике (группа 2).

Исследование одобрено локальным этическим комитетом НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера. У родителей пациентов были получены информированные добровольные согласия.

#### Критерии включения в исследование:

- Диастематомия I типа, подтверждённая на основании МРТ и КТ-исследований.
- Возраст пациентов от 5 до 11 лет.
- Наличие прогрессирующей очаговой неврологической симптоматики, деформации позвоночника и/или нижних конечностей.
- Отсутствие предшествующих хирургических вмешательств на данном уровне позвоночника.
- Доступность архива данных КТ, МРТ, рентгенографии позвоночника в динамике (от 6 до 40 мес.).

#### Предоперационное и послеоперационное обследование

В предоперационном периоде все пациенты проходили комплекс визуализационных методов диагностики: рентгенография позвоночника в прямой и боковой проекциях; МРТ шейного, грудного, поясничного отделов позвоночника – аппарат Ingenia Elition 3,0 T (Koninklijke Philips N.V., Нидерланды); КТ позвоночника, шаг сканирования 0,8 мм, наклон петли Гентри 0 град, аппарат Aquilion 64 среза (Toshiba Medical Systems, Япония).

В раннем послеоперационном периоде объём контрольных исследований включал рентгенографию позвоночника (стоя, в двух проекциях), а также КТ и МРТ прооперированного участка (при наличии клинических показаний). В дальнейшем каждые 6 мес. наблюдения выполнялась плановая рентгенография позвоночника стоя; при необходимости, повторялась КТ или МРТ.

Оценка выраженности болевого синдрома у пациентов с использованием визуально-аналоговой шкалы (ВАШ от 0 до 10 баллов). Оценка по ВАШ выполнялась в день госпитализации и на 1-е сут. после вмешательства.

Оценку неврологического статуса проводили при первичном осмотре, в раннем послеоперационном периоде и через 6 мес. после хирургического вмешательства, оценивая:

- Силу мышц конечностей по общепринятой пятибалльной шкале (0 – парез, 5 – нормальная сила).
- Чувствительность по дерматомам: выявлялись зоны гип-анестезии, другие виды нарушений чувствительности.
- Наличие тазовых расстройств.
- Другие неврологические проявления: трофические расстройства, нейрогенные деформации нижних конечностей, гипотрофию конечностей.

#### Описание нового навигационного направителя

Для создания трёхмерной (3D) модели сегмента позвоночника с диастематомией использовали данные предоперационной КТ (при необходимости дополняемые МРТ исследованием). На полученной 3D-модели визуализировали дуги позвонков с аномалией и рассчитывали оптимальную траекторию остеотомии, направленную на удаление костной перегородки.

Конструкция хирургического направителя состояла из пластикового каркаса, повторяющего рельеф дорсальной поверхности костных структур дуг позвонков, что обеспечивало плотное прилегание направителя к костным структурам, исключая смещение шаблона во время манипуляций. Для дополнительной стабилизации шаблона по боковым поверхностям шаблона были расположены отверстия для его фиксации к костным структурам позвонков при помощи спиц Киршнера. Центральный тубус-направитель служил для введения высокооборотистой дрели с целью точного выполнения остеотомии в заранее заданной плоскости (рис. 1). После виртуального моделирования каркас навигационного направителя печатался на 3D-принтере из биосовместимого (стерилизуемого) пластика, проходил контроль качества и стерилизацию перед использованием в ходе операции.

#### Хирургическая техника

После скелетирования задних костных структур в зоне костной перегородки устанавливали индивидуальный 3D-навигационный шаблон так, чтобы его опорная площадка максимально точно прилегала

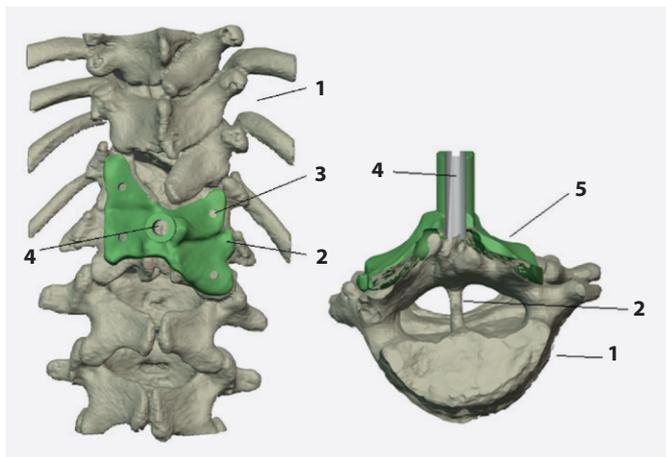


Рисунок 1. Шаблон вид сверху и в сагиттальной плоскости  
1 – позвоночник пациента с костной перегородкой позвоночного канала

2 – каркас, повторяющий рельеф наружной поверхности дуг позвонков

3 – отверстия, выполненные с возможностью фиксации направителя к кости спицами

4 – полый тубус-направитель для проведения остеотомии

5 – костная перегородка позвоночного канала

Figure 1. Template: top-down and sagittal views

1, patient's spine with an osseous septum

2, framework replicating the contour of the vertebral arches

3, holes for guide fixation to the bone with K-wires

4, hollow guide tube for osteotomy

5, osseous septum

к дугам позвонков. Для предотвращения смещения шаблон дополнительно фиксировали спицами Киршнера, проведёнными через боковые отверстия. Далее через центральный тубус-направитель вводили высокооборотную дрель и, следуя заранее запланированной траектории, проводили остеотомию для отделения костной перегородки от дуг позвонков. После завершения этой стадии шаблон извлекали из операционного поля. Затем с помощью краниотома выполняли остеотомию дуг позвонков с двух сторон, что позволяло сформировать костный лоскут. После этого лоскут отделяли от периостальных тканей и временно удаляли из раны. На следующем этапе производили полное удаление костной перегородки с формированием единого дурального мешка. В завершающей части операции костный лоскут возвращали на исходное место для профилактики рецидива, разворачивая его так, чтобы канальная поверхность была обращена наружу, и фиксировали нерассасывающейся нитью (лавсан).

Группа 2 (без навигационного направителя)

В контрольной группе пациентов применяли традиционную методику костно-пластической ламинотомии, при которой врач-хирург ориентировался на данные предоперационной КТ и МРТ, анатомические ориентиры и собственный опыт с целью определения оптимальной линии остеотомии дуг позвонков.

После скелетирования костных структур дуг позвонков с применением краниотома выполняли остеотомию дуг позвонков с двух сторон и этапную мобилизацию костного лоскута – смещение его в стороны и отделение периостальных тканей. С целью осуществления доступа к костной перегородке выполняли ее остеотомию и последующее удаление костного лоскута из раны на время. После этого был проведен основной этап по общепринятой хирургической методике, направленной на полное удаление костной перегородки. После окончания основного этапа костный фрагмент возвращали на место и фиксировали нерассасывающейся нитью (лавсаном) (рис. 2).

#### Критерии оценки результатов

Для объективного сравнения эффективности двух методик в обеих группах анализировались следующие показатели:

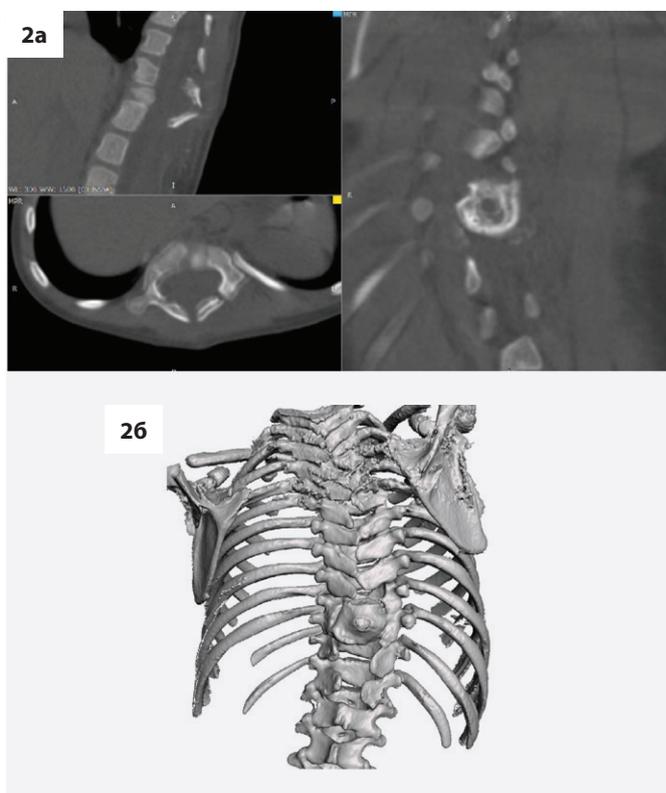


Рисунок 2. Результаты послеоперационной КТ позвоночника через 7 дней после операции

2а – мультипланарная реконструкция КТ позвоночника, демонстрирующая область остеотомии

2б – 3D-реконструкция позвоночного столба после операции, визуализирующая область остеотомии и выполненную костно-пластическую ламинотомию; костный лоскут уложен таким образом, что его канальная поверхность обращена наружу

Figure 2. Spinal computed tomography 7 days after the surgery  
2a, multiplanar computed tomographic reconstruction of the spine showing the osteotomy area

2b, postoperative 3D reconstruction of the spine visualizing the osteotomy area and the performed osteoplastic laminotomy; the bone flap is placed so its canal surface faces outward

- Время, затрачиваемое непосредственно на остеотомию дуг и удаление костного лоскута из раны, оценивалось в секундах. В группе 1 время считали от момента приложения шаблона к кости до времени удаления костного лоскута, в группе 2 время оценивали от момента начала остеотомии краниотомом до момента удаления костного лоскута из раны.

- Объём кровопотери, измеренный с помощью аппарата аутологической заготовки крови (Cell Saver [Haemonetics Corp., США], измерение в мл).

- Уровень С-реактивного белка в первые сут. после операции как маркер воспаления и травматичности вмешательства измерялось в мг/л.

- Выраженность болевого синдрома у пациентов с использованием визуально-аналоговой шкалы (ВАШ от 0 до 10 баллов).

- Интра- и послеоперационные осложнения, включая нарастание очаговой неврологической симптоматики, нестабильность позвонков, формирование деформаций позвоночника.

#### Статистическая обработка данных

Анализ собранных данных проводили с использованием программного пакета Statistica версия 13.3 (TIBCO Software Inc., США). Для сравнения количественных показателей между группами использовался Т-критерий Стьюдента. Уровень статистической значимости был установлен на уровне  $p < 0,05$ . Полученные результаты представлены в виде средних значений ( $M \pm m$ ) с указанием доверительных интервалов и  $p$ -уровня достоверности.

#### Результаты

В исследование были включены 13 пациентов с диастематомиелией I типа в возрасте от 5 до 11 лет (группа 1,  $n=6$ ) и от 6 до 10 лет (группа 2,  $n=7$ ). Все пациенты были прооперированы в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера в период с сентября 2019 по июль 2024 г. Общее соотношение мальчиков и девочек составило в обеих группах было сопоставимо. Уровень диастематомиелии варьировал от Th10 до L4, при этом наиболее часто отмечалась локализация в поясничных сегментах.

Таблица 1 содержит детальные демографические данные пациентов и наличие сопутствующей деформации позвоночника. Средний угол сколиотической деформации в группе 1 составлял  $11,3 \pm 6,5^\circ$ , в группе 2 –  $11,6 \pm 8,6^\circ$ .

При первичном осмотре у пациентов обеих групп были выявлены неврологические нарушения различной степени выраженности, проявляющиеся снижением силы мышц нижних конечностей (от 3 до 5), гипестезия в соответствующих дерматомах и наличие тазовых расстройств. У некоторых пациентов наблюдались сопутствующие ортопедические нарушения,

**Таблица 1**  
**Клинико-демографические данные пациентов**  
**Table 1**  
**Clinical and demographic data of the patients**

Группа 1				
Пациент	Возраст	Пол	Уровень диастематомиелии	Сопутствующая деформация позвоночника (сколиоз – в град. по Cobb)
1	5	Ж	L2-L3	10
2	7	Ж	Th11-Th12	8
3	11	М	L1	24
4	6	Ж	L4	12
5	5	М	L2-L3	7
6	6	Ж	Th10	7
Группа 2				
1	9	Ж	L1	10
2	6	Ж	L3-L4	8
3	10	Ж	L3	30
4	8	М	Th12-L1	12
5	10	М	L1-L2	4
6	6	Ж	Th11	11
7	7	М	Th10	6

в частности, деформация стопы. Сводные данные о пациентах представлены в таблице 2.

Из представленных данных видно, что в обеих группах исследования преобладали пациенты с умеренными двигательными нарушениями. В группе 1 исходный уровень силы мышц нижних конечностей составил  $3,92 \pm 0,49$  баллов, а в группе 2 –  $3,79 \pm 0,57$  баллов; сравнительный анализ показал отсутствие статистически значимых различий между группами ( $p=0,67$ ). Кроме того, у пациентов обеих групп отмечались чувствительные расстройства, тазовые дисфункции встречались приблизительно у трети пациентов, а трофические расстройства и деформации стоп наблюдались в обеих группах, что указывает на тяжесть и комбинированный характер неврологических проявлений.

Обе исследуемые группы имели схожий профиль исходной неврологической симптоматики и сопутствующих ортопедических изменений. Это позволило провести сравнительный анализ эффективности хирургического вмешательства с использованием индивидуального 3D-навигационного шаблона и традиционной костно-пластической ламинотомии.

Динамика неврологического статуса пациентов обеих групп свидетельствовала о положительном эффекте оперативного вмешательства. В группе 1 исходная мышечная сила нижних конечностей составляла  $3,92 \pm 0,49$  балла. Через 6 месяцев после операции средний показатель увеличился до  $4,83 \pm 0,26$  балла. Парный t-тест выявил статистически значимое улучшение неврологического статуса в группе 1 ( $p=0,001$ ).

Таблица 2

Сводные данные о предоперационном неврологическом статусе пациентов

Table 2

Preoperative neurological status of the patients

Группа 1					
Пациент	Сила мышц нижних конечностей	Чувствительность	Нарушение функции тазовых органов	Другие проявления (трофические расстройства, нейрогенные деформации нижних конечностей, патологические рефлекссы.)	Сила мышц нижних конечностей через 6 мес. после операции
1	4	Гипестезия с уровня L3	есть	гипотрофия, деформация стопы.	5
2	4–5	Гипестезия L2–S1	нет	нет	5
3	4	Гипестезия L3–L5	нет	нет	4–5
4	4	Гипестезия L4–S1	есть	трофические расстройства пальцев, деформация стопы	5
5	3	Гипестезия L4–L5	нет	нет	4–5
6	4	Гипестезия L4–S1	нет	нет	5
Группа 2					
1	4–5	Гипестезия L3–S1	нет	гипотрофия, деформация стопы.	5
2	4	Гипестезия L4–S1	есть	нет	5
3	3	Гипестезия L3–L5	есть	нет	4–5
4	4	Гипестезия L5–S1	нет	гипотрофия	5
5	4	Гипестезия L3–L5	есть	нет	4–5
6	4	Гипестезия L2–L5	нет	гипотрофия	5
7	3	Гипестезия L2–S1	нет	гипотрофия, деформация стопы.	4–5

В группе 2 исходный уровень силы мышц составлял  $3,79 \pm 0,57$  баллов, а послеоперационные показатели –  $4,79 \pm 0,27$  баллов. Анализ парных различий также показал статистически значимое улучшение ( $p = 0,0008$ ). Данные результаты подтверждают, что хирургическое лечение диастематомии, вне зависимости от выбранного метода (с использованием индивидуального 3D-навигационного шаблона или традиционной костно-пластической ламинотомии), способствует улучшению неврологического статуса пациентов.

#### Операционные показатели

Время остеотомии и удаления костного лоскута.

В группе 1 (с применением индивидуального навигационного шаблона) средняя продолжительность остеотомии дуг позвонков и извлечения костного лоскута составила  $743,3 \pm 158,5$  сек. В контрольной группе (группа 2) этот показатель был существенно выше –  $1177 \pm 140,8$  сек. Сравнительный анализ показал статистически достоверные различия между группами по этому параметру ( $p = 0,0004$ ).

#### Объём кровопотери

Для оценки кровопотери использовался аппарат аутологической заготовки крови Cell Saver. В группе 1 средний объём интраоперационной кровопотери составил  $146,3 \pm 20,4$  мл, в группе 2 –  $223,6 \pm 32,7$  мл. Различия в объёме кровопотери между группами также были статистически значимыми ( $p = 0,0005$ ), что указывает на меньшую травматичность вмешательства при использовании индивидуального 3D-навигационного шаблона.

#### Выраженность болевого синдрома по ВАШ

В группе 1 средний уровень болевого синдрома по ВАШ составил  $4,67 \pm 1,21$ , а в группе 2 –  $6,00 \pm 1,41$ . Сравнительный анализ показал, что разница между группами не достигла статистической значимости ( $p = 0,096$ ). Эти данные свидетельствуют о тенденции к более высокому уровню болевого синдрома в группе 2, однако выявленная разница не достигла статистической значимости.

#### Уровень С-реактивного белка

В качестве косвенного маркера травматичности вмешательства и воспалительной реакции оценивался уровень С-реактивного белка в первые сутки после операции. В группе 1 уровень С-реактивного белка составил  $73,7 \pm 11,7$  мг/л, а в группе 2 –  $78,1 \pm 11,7$  мг/л. Несмотря на небольшую разницу в абсолютных значениях, статистический анализ не выявил достоверных различий между группами ( $p \approx 0,51$ ), что может свидетельствовать о сходном уровне посттравматического воспаления.

#### Осложнения

В раннем послеоперационном периоде у одного пациента (№ 3) из группы 2 отмечено нарастание очаговой неврологической симптоматики в виде усиления пареза нижних конечностей. Негативная динамика регрессировала в течение 3-х мес. после оперативного вмешательства; к моменту контрольного осмотра пациент достиг исходного уровня неврологического статуса. В других случаях (группа 1 и остальные пациенты группы 2) осложнений не наблюдалось.

## Обсуждение

Сопоставление двух подходов продемонстрировало явные преимущества инновационной методики с использованием навигационного шаблона-направителя, проявляющиеся в уменьшении времени операции и снижении интраоперационной кровопотери по сравнению с традиционной методикой лечения. При этом показатели С-реактивного белка, отражающие общий уровень посттравматического воспаления, практически не отличались между группами, что свидетельствует о безопасности нового подхода.

Предварительное 3D-моделирование и точное воспроизведение рельефа позвонков способствуют установлению оптимальной траектории остеотомии, что позволяет исключить риск «избыточной» резекции дуг, снизить вероятность повреждения нервных структур, предотвратить развитие ятрогенной нестабильности позвоночного сегмента и, как следствие, уменьшить риск вторичной прогрессирующей постоперационной деформации позвоночного столба. Эти аспекты особенно актуальны у детей, у которых процесс роста позвоночника и формирование его структур ещё не завершены.

Отсутствие необходимости широкой мобилизации костного лоскута и смещения перегородки в стороны приводят к меньшему объёму манипуляций на мягких тканях и кровеносных сосудах, что подтверждается меньшей кровопотерей. Оптимизация действий хирурга на этапе остеотомии в группе с навигационным шаблоном значительно сокращает оперативное время, что важно для снижения хирургических и анестезиологических рисков.

Полученные данные согласуются с общими тенденциями в современной нейрохирургии, направленными на внедрение персонализированных навигационных технологий и 3D-печати хирургических шаблонов. Аналогичные методики были описаны в ряде работ, посвящённых точечным остеотомиям при врождённых аномалиях позвоночника и применению индивидуальных имплантатов [11]. В контексте лечения пациентов с диастематомиелией точность остеотомии и минимизация травматичности особенно важны, учитывая риск неврологических осложнений и последующие деформации позвоночника в процессе роста и развития ребёнка.

Несмотря на достаточно небольшое количество публикаций по применению 3D-шаблонов при диастематомиелии, отдельные исследования уже подтвердили высокую эффективность индивидуального планирования при сложных врождённых аномалиях развития [12]. Некоторые авторы подчёркивают, что использование цифровых инструментов сокращает интраоперационный стресс для врача-хирурга и повышает точность самого оперативного вмешательства, что в свою очередь отражается на количестве осложнений [13].

Совершенствование технологий 3D-печати и навигационных систем открывает перспективы для более широкого применения персонализированных шаблонов в нейрохирургической практике. Данный подход, успешно применённый для лечения диастематомиелии I типа у детей, может быть адаптирован для лечения других аномалий позвоночника и спинного мозга, требующих прецизионной остеотомии или резекции костных структур. Перспективным направлением является интеграция с роботизированными хирургическими системами, что позволит повысить точность и безопасность вмешательства.

## Заключение

Применение индивидуального 3D-навигационного направителя при хирургическом лечении детей с диастематомиелией I типа позволяет добиться более точной и малотравматичной остеотомии дуг позвонков, сократить время оперативного вмешательства и уменьшить интраоперационную кровопотерю по сравнению с традиционным методом костно-пластической ламинотомии. Уровни С-реактивного белка и частота послеоперационных осложнений не продемонстрировали статистически значимых различий между группами, что является аргументом в пользу безопасности разработанного подхода. На основании полученных данных можно сделать вывод о клинической целесообразности интеграции технологий 3D-планирования и печати навигационных шаблонов в протоколы хирургического лечения пациентов со сложными врождёнными аномалиями развития позвоночного канала.

## Вклад авторов

*Разработка концепции и дизайна исследования:* В.Г. Тория  
*Сбор, анализ и интерпретация данных:* В.Г. Тория  
*Подготовка и редактирование текста:* В.Г. Тория  
*Проведение статистического анализа:* В.Г. Тория, С.В. Виссарионов  
*Утверждение готовой версии:* В.Г. Тория, С.В. Виссарионов

## Author contributions

*Concept and design:* Toria  
*Acquisition, analysis, or interpretation of data:* Toria  
*Manuscript drafting and revising:* Toria  
*Statistical analysis:* Toria, Vissarionov  
*Final approval of the version to be published:* Toria, Vissarionov

## Литература/References

1. Kobets AJ, Oliver J, Cohen A, Jallo GI, Groves ML. Split cord malformation and tethered cord syndrome: case series with long-term follow-up and literature review. *Childs Nerv Syst.* 2021;37(4):1301–1306. PMID: 33242106. <https://doi.org/10.1007/s00381-020-04978-9>
2. Narayanan R, Rajshekhar V. Pre-operative clinical deterioration and long-term surgical outcomes in 41 patients with split cord malformation type 1. *Childs Nerv Syst.* 2024;40(12):4065–4073. PMID: 39361127. <https://doi.org/10.1007/s00381-024-06626-y>

3. Kancherla V. Neural tube defects: a review of global prevalence, causes, and primary prevention. *Childs Nerv Syst.* 2023;39(7):1703–1710. PMID: 36882610. <https://doi.org/10.1007/s00381-023-05910-7>

4. Wallingford JB, Niswander LA, Shaw GM, Finnell RH. The continuing challenge of understanding, preventing, and treating neural tube defects. *Science.* 2013;339(6123):1222002. PMID: 23449594. PMCID: PMC3677196. <https://doi.org/10.1126/science.1222002>

5. Sack AM, Khan TW. Diastematomyelia: split cord malformation. *Anesthesiology.* 2016;125(2):397. PMID: 26771912. <https://doi.org/10.1097/aln.0000000000001021>

6. Yang N, Luo M, Yu Y, Wang J, Xia L, Wang W. Is it better to resect a bony spur before corrective surgery for congenital scoliosis with type I split cord malformation?. *World Neurosurg.* 2019;125:e1151–e1159. PMID: 30790730. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.01.265>

7. Meacham WF. Surgical treatment of diastematomyelia. *J Neurosurg.* 1967;27(1):78–85. PMID: 6028874. <https://doi.org/10.3171/jns.1967.27.1.0078>

8. Nazarali R, Lyon K, Cleveland J, Garrett D Jr. Split cord malformation associated with scoliosis in adults. *Proc (Bayl Univ Med Cent).* 2019;32(2):274–276. PMID: 31191152. PMCID: PMC6541173. <https://doi.org/10.1080/08998280.2019.1573624>

9. Boop FA, Russell A, Chaddock WM. Diagnosis and management of the tethered cord syndrome. *J Ark Med Soc.* 1992;89(7):328–331. PMID: 1286983.

10. Beuriat PA, Di Rocco F, Szathmari A, Mottolese C. Management of split cord malformation in children: the Lyon experience. *Childs Nerv Syst.* 2018;34(5):883–891. Published correction appears in *Childs Nerv Syst.* 2018;34(7):1433. PMID: 29582170. <https://doi.org/10.1007/s00381-018-3772-3>

11. Xin X, Liu X, Zhu Y, Li J, Yue C, Hao D. 3D-printed guide plate system-assisted thoracolumbar kyphosis osteotomy: a technical case series. *World Neurosurg.* 2023;173:28–33. PMID: 36780984. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.02.039>

12. Wu AM, Lin JL, Kwan KYH, Wang XY, Zhao J. 3D-printing techniques in spine surgery: the future prospects and current challenges. *Expert Rev Med Devices.* 2018;15(6):399–401. PMID: 29848086. <https://doi.org/10.1080/17434440.2018.1483234>

13. Sheha ED, Gandhi SD, Colman MW. 3D printing in spine surgery. *Ann Transl Med.* 2019;7(Suppl 5):S164. PMID: 31624730. PMCID: PMC6778284. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.08.88>

### Сведения об авторах

**Тория Вахтанг Гамлетович**, врач-нейрохирург, Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-2056-9726>

**Виссарионов Сергей Валентинович**, д. м. н., профессор, член-корреспондент РАН, Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера (Санкт-Петербург, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

### Конфликт интересов

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

### Финансирование

*Исследование выполнено в рамках темы НИР «Комплексное лечение детей с врожденной деформацией грудной клетки, позвоночника и нестабильностью грудино-реберного комплекса» (регистрационный номер 1023021600029-8-3.2.10).*

### Author credentials

**Vakhtang G. Toria**, Neurosurgeon, H. Turner National Medical Research Center for Children’s Orthopedics and Trauma Surgery (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-2056-9726>

**Sergei V. Vissarionov**, Dr. Sci. (Med.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, H. Turner National Medical Research Center for Children’s Orthopedics and Trauma Surgery (Saint Petersburg, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>

**Conflict of interest:** none declared.

### Funding:

*The study was conducted as part of the research project “Comprehensive Treatment of Children With Congenital Chest Wall and Spinal Deformities and Sternocostal Instability” (registration No. 1023021600029-8-3.2.10).*